

УДК 637.52

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КУТТЕРОВАНИЯ

Желудков А.Л., инженер,

Акуленко С.В., к.т.н.

УО «Могилевский государственный университет продовольствия»

Тел (0222) 48-57-61

Аннотация – работа посвящена методике определения продолжительности измельчения мясного сырья в куттере. Проанализированы существующие способы определения времени куттерования. Приведено выражение, позволяющее определить время, за которое измельчаемое сырье нагреется до заданной температуры в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы куттера.

Ключевые слова – куттер, время куттерования, температура куттеруемого сырья.

Постановка проблемы. Одним из направлений в области энергосбережения при переработке сельскохозяйственной продукции является повышение эффективности процесса измельчения пищевых продуктов. Добиться реализации поставленной цели возможно путем интенсификации процесса, а также при помощи методик, позволяющих заранее прогнозировать продолжительность измельчения.

Способами интенсификации процесса куттерования мясного сырья являются использование систем автоматизации процесса, оптимизация режимов резания и конструкций режущих органов. В тоже время на решение второй задачи обращалось недостаточное внимание. В связи с отсутствием методики прогнозирования продолжительности времени измельчения сырья, возникает необходимость постоянного контроля за процессом куттерования. Неопределенность продолжительности процесса тонкого измельчения приводит к перерасходу электрической энергии на проведение процесса, а также приводит к выделению большого количества тепла, что вызывает значительное повышение температуры сырья и приводит к денатурации белков, снижению водосвязывающей способности полуфабриката и изменению структурно-механических свойств готового продукта. В результате увеличиваются затраты на проведение процесса и ухудшается качество получаемой продукции.

Момент наступлення окончання процесса куттерования можно определять следующими способами: органолептическим способом, с помощью специальных приспособлений и приборов, реагирующих на изменение структурно-механических характеристик фарша в процессе его приготовления, по степени измельчения, ориентировочно по рекомендуемой продолжительности обработки, характерной для определенного вида продукта, при помощи термометрических устройств, измеряющих температуру куттеруемого сырья. В настоящее время в большинстве современных куттеров применяется последний способ. В данном случае процесс куттерования прекращается при достижении сырьем определенной температуры, соответствующей началу денатурации (свертыванию) белков.

Однако в настоящий момент отсутствует методика, позволяющая достаточно точно рассчитать продолжительность измельчения в куттерах (время, за которое куттеруемое сырье достигает заданной температуры).

Анализ предыдущих исследований. В результате любого механического воздействия на продукт (перемешивания, растирания, измельчения, резания и пр.) изменяются величины его физических свойств и технологические показатели [1, 2]. Для получения желаемого эффекта необходимо подвести к продукту определенное количество полезной энергии, которая вызывает изменение качества продукта. Другая часть энергии из общей расходуется на преодоление сил сопротивления и трения, преобразуясь в тепло. Например, при куттеровании полезная энергия составляет 5...10% от общей подведенной. В связи с этим при рассмотрении механической обработки изучают необходимую длительность проведения процесса (для каждой машины длительность будет иметь свое значение) [3].

А.В. Горбатов получил следующую зависимость для вычисления оптимальной продолжительности куттерования

$$\tau_{opt} = \sqrt[3]{\frac{a}{2b^2 \cdot c} - \frac{2}{3} \cdot \frac{a}{b}}, \quad (1)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты, постоянные для определенного прибора и измельчающей машины, но различные для каждого вида фарша.

Следует отметить, что данное выражение не учитывает специфики измельчения сырья в куттере и имеет частный характер. Для каждого вида сырья и машины значения коэффициентов будут различными.

Формулировка целей статьи. Целью проведенных исследований являлось определение зависимости продолжительности куттерования мяса кур механической обвалки от частоты вращения ножевого вала и чаши, коэффициента скольжения куттерного ножа и конечной температуры измельчаемого сырья, позволяющей определять время, за которое мясо кур механической обвалки в процессе куттерования нагреется до заданной температуры.

Основная часть. Так как куттерование является сложным процессом, совмещающим в себе процессы резания и перемешивания, то установить аналитически продолжительность куттерования не представляется возможным, и ее определяют экспериментально.

При разработке методики определения продолжительности куттерования, приняты следующие допущения:

- 1) энергия, идущая на преодоление пластических деформаций и трения, полностью расходуется на нагрев куттеруемого сырья;
- 2) теплотой, поступающей от окружающей среды, пренебрегаем;
- 3) потерями теплоты наружными поверхностями машины пренебрегаем;
- 4) потерями на разогрев конструкции пренебрегаем.

Исходя из принятых допущений, получаем уравнение для определения работы, затрачиваемой на процесс куттерования

$$A_{пол} = A_{изм} + Q_{мен}, \quad (2)$$

где $A_{пол}$ – работа, затрачиваемая на процесс куттерования, Дж;

$A_{изм}$ – работа, затрачиваемая на измельчение, Дж;

$Q_{мен}$ – энергия, идущая на нагрев куттеруемого сырья, Дж.

Для получения математического выражения, позволяющего определить время куттерования, за которое измельчаемое сырье достигнет определенной температуры, вводим поправочный коэффициент K_1 , показывающий, какая часть энергии от энергии, расходуемой на куттерование, идет на нагрев сырья

$$K_1 = Q_{мен} / A_{пол}. \quad (3)$$

Энергия, идущая на нагрев сырья, в результате которой температура сырья повышается на Δt , определяется из выражения

$$Q_{мен} = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (4)$$

где c – теплоемкость куттеруемого сырья, Дж/(кг·°C);

m – масса куттеруемого сырья, кг;

Δt – изменение температуры куттеруемого сырья, °C.

Работу, затрачиваемую на процесс куттерования $A_{пол}$, можно определить из выражения

$$A_{пол} = N_{пол} \cdot \tau, \quad (5)$$

где $N_{пол}$ – полезная мощность, потребляемая в процессе куттерования, Вт;

τ – время куттерования, с.

Таким образом поправочный коэффициент K_1 определяется как

$$K_1 = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{N_{пол} \cdot \tau}. \quad (6)$$

Полезная мощность, затрачиваемая на измельчение сырья в процессе куттерования $N_{пол}$ определяется в результате экспериментальных исследований и находится как разность между мощностью на ножевом валу N под нагрузкой и мощностью на ножевом валу без нагрузки $N_{x.x}$

$$N_{пол} = N - N_{x,x}, \quad (7)$$

где N – мощность на ножевом валу под нагрузкой, Вт;

$N_{x,x}$ – мощность на ножевом валу без нагрузки, Вт.

Проведенные исследования показали, что при куттеровании модельного материала около 90% от энергии, затрачиваемой на измельчение в процессе куттерования, идет на нагрев сырья.

Таким образом, зная коэффициент пропорциональности K_1 , можно определить время τ , за которое куттеруемое сырье нагреется на температуру Δt :

$$\tau = \frac{Q_{мен}}{K_1 \cdot N_{пол}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot N_{пол}}. \quad (8)$$

Полезную мощность $N_{пол}$, затрачиваемую на измельчение мясного сырья в процессе куттерования, также можно определить из регрессионной модели, полученной в результате экспериментальных исследований. В нашем случае зависимость искомого (выходного) параметра от принятых независимых переменных можно представить в виде произведения функций от отдельных аргументов

$$N_{пол} = A \cdot f(n_в) \cdot f(n_ч) \cdot f(K_c), \quad (9)$$

где $f(n_в)$ – функция влияния частоты вращения ножевого вала на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(n_ч)$ – функция влияния частоты вращения чаши на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования;

$f(K_c)$ – функция влияния коэффициента скольжения ножа на полезную мощность, затрачиваемую на измельчение в процессе куттерования.

С учетом полученной зависимости, выражение для определения продолжительности куттерования примет вид:

$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{K_1 \cdot (A \cdot f(n_в) \cdot f(n_ч) \cdot f(K_c))}. \quad (10)$$

Данное выражение позволяет определить время куттерования за которое измельчаемый продукт нагреется до определенной температуры, в зависимости от наиболее важных кинематических параметров работы куттера (частоты вращения ножевого вала и чаши), а также конструктивных особенностей куттерных ножей.

Полученное выражение носит общий характер. Для применения полученной методики по отношению к конкретной модели куттеров требуется проведение исследований, учитывающих конструктивные и кинематические особенности машин.

Многообразие процессов пищевой технологии, большая номенклатура изделий, дороговизна и малая стойкость пищевых продуктов при хранении вынуждают в исследовательской практике отходить

от натуральных материалов и искать их заменители, которые достаточно полно воспроизводят наиболее существенные свойства натурального продукта в процессе экспериментальных исследований. Многократно проведенные исследования показали, что универсальным моделирующим объектом для многих пищевых продуктов служит модельный материал на основе бентонитовой глины [4].

Зависимость изменения полезной мощности $N_{пол}$, затрачиваемой на процесс куттерования модельного материала, от принятых независимых переменных можно представить в виде произведения функций от отдельных аргументов. Для этого находим логарифмы от средних значений полезной мощности и потенцируем результат для каждого из уровней. После математической обработки графических зависимостей получаем функции:

$$\begin{aligned} N_{пол} &= f(K_c) = 685,33 \cdot K_c^{0,06}; \\ N_{пол} &= f(n_b) = 8,993 \cdot n_b^{0,601}; \\ N_{пол} &= f(n_q) = 524,88 \cdot n_q^{0,118}, \end{aligned}$$

перемножение которых в конечном итоге позволяет получить выражение, связывающее полезную мощность, затрачиваемую на процесс куттерования, с независимыми управляемыми переменными n_b , n_q , и K_c с точностью до неизвестного постоянного множителя A .

Таким образом, для прогнозирования и расчетов основных технологических характеристик обрабатываемого сырья, после обработки экспериментальных данных получено уравнение, позволяющее определить изменение полезной мощности при куттеровании модельного материала:

$$N_{пол} = 6,523 \cdot K_c^{0,06} \cdot n_b^{0,601} \cdot n_q^{0,118}, \quad (11)$$

где K_c – коэффициент скольжения ножа;

n_b – частота вращения ножевого вала, мин⁻¹;

n_q – частота вращения чаши, мин⁻¹.

С учетом выражения (11) и коэффициента K_1 ($K_1=0,9$) уравнение (10) примет вид

$$\tau = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{5,87 \cdot K_c^{0,06} \cdot n_b^{0,601} \cdot n_q^{0,118}}. \quad (12)$$

Данное выражение позволяет прогнозировать продолжительность куттерования модельного материала в зависимости от конечной температуры сырья, а также от режимно- конструктивных параметров работы куттера. Для более точного прогнозирования продолжительности времени куттерования, за которое измельчаемое сырье достигнет заданной температуры, рекомендуется использовать выражение для нахождения полезной мощности $N_{пол}$, определенное с помощью использования пакета программ StatGraphics Plus:

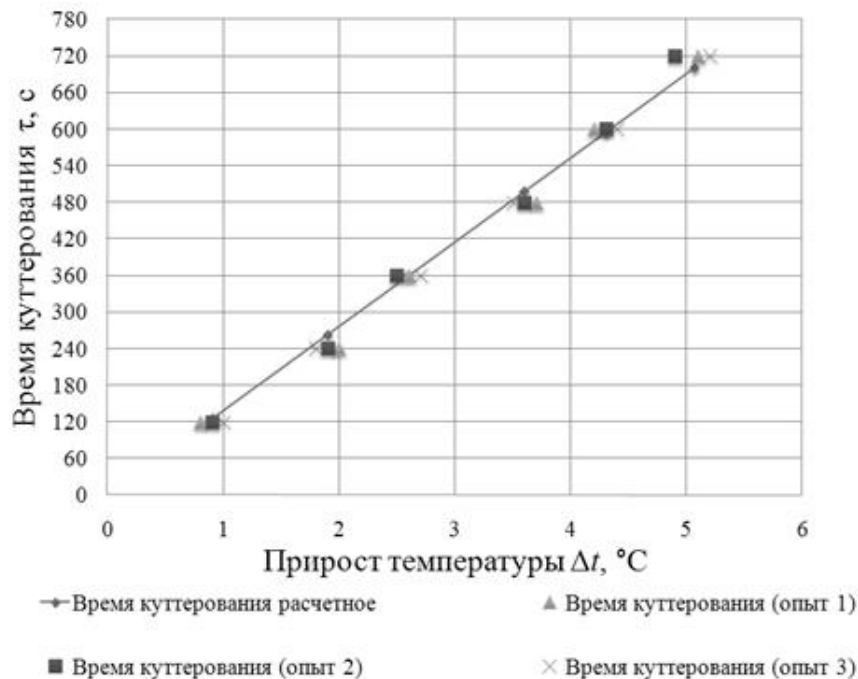
$$\begin{aligned} N_{пол} &= 536,494 - 236,56 \cdot K_c + 0,139 \cdot n_b + 6,198 \cdot n_q + 52,896 \cdot K_c^2 + \\ &+ 0,00796 \cdot K_c \cdot n_b + 0,438 \cdot K_c \cdot n_q + 0,0000381 \cdot n_b^2 + 0,00191 \cdot n_b \cdot n_q - 0,093 \cdot n_q^2. \end{aligned} \quad (13)$$

С целью сопоставления расчетного времени куттерования, полученного с помощью выражения (12), и экспериментального времени куттерования модельного материала, проводились дополнительные исследования. Устанавливались следующие режимы куттерования: частота вращения ножевого вала $n_g = 1492 \text{ мин}^{-1}$; частота вращения чаши $n_q = 11,9 \text{ мин}^{-1}$; коэффициент скольжения ножа $K_c = 2,1$. В таблице 1 представлены значения прироста температуры модельного материала и расчетное время куттерования.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

№ измерения	Время куттерования τ , с	Прирост температуры Δt_1 , °C	Прирост температуры Δt_2 , °C	Прирост температуры Δt_3 , °C	Время куттерования расчетное τ , с
1	120	0,8	0,9	1	125
2	240	2	1,9	1,8	262
3	360	2,6	2,5	2,7	359
4	480	3,7	3,6	3,5	497
5	600	4,2	4,3	4,4	594
6	720	5,1	4,9	5,2	700

На рис. 1 представлены расчетная зависимость и экспериментальные данные продолжительности куттерования для модельного материала.

Рис. 1. Зависимость τ от Δt при $K_c=2,1$, $n_g=1492 \text{ мин}^{-1}$ и $n_q=11,9 \text{ мин}^{-1}$.

Выводы. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что уравнение (12) позволяет с высокой степенью точности определить продолжительность куттерования, за которое сырье нагреется

до определенной температуры, в куттерах типа ФК-50 при атмосферном давлении, без охлаждения измельчаемого сырья. Подобная методика может успешно применяться на практике при планировании производства продукции пищевой промышленности, а также при проведении научно-исследовательских работ и в учебном процессе.

Литература

1. *Рогов И.А.* Физические методы обработки пищевых продуктов / *И.А. Рогов, А.В. Горбатов* – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 583 с.
2. *Урьев Н.Б.* Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / *Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник* – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 240 с.
3. *Горбатов А.В.* Структурно-механические свойства мяса и мясопродуктов. Справочник: Физико-химические и биохимические основы технологии мяса и мясопродуктов / *А.В. Горбатов* – М.: Пищевая промышленность, 1973. – С.115–167.
4. *Косой В.Д.* Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества): монография / *В.Д. Косой, В.П. Дорохов* – М.: ДеЛи принт, 2006. – 765 с.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ КУТТЕРОВАННЯ

Желудков А.Л., Акуленко С.В.

Анотація

Робота присвячена методиці визначення тривалості подрібнення м'ясної сировини в куттері. Проаналізовані існуючі способи визначення часу куттерования. Приведено вираз, що дозволяє визначити час, за який подрібнена сировина нагріється до заданої температури в залежності від конструктивних параметрів і режимів роботи куттера.

THE METHOD OF DEFINITION OF DURATION OF CUTTERING

A. Zheludkov, S. Akulenko

Summary

The work is devoted to a technique of definition of duration of crushing of meat raw material in cutter. Existing ways of definition of time crushing are analysed. The dependence is described, allowing to define time for which crushed raw material will heat up to the set temperature depending on design data constructive parameters and modes of the work of cutter.